№ 4 Warszawa, 25 kwietnia 1938 r. Rok XVI

TECHNIKA CIEPLNA

Czasopismo Związku Stowarzyszeń Dozoru Kotłów w Polsce

REDAKTOR: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.
Wydawca: Związek Stowarzyszeń Dozoru Kotłów w Polsce.
REDAKCJA I ADMINISTRACJA: WARSZAWA, PIUSA XI, 32, m. 6. TEL. 8-81-47.
GODZINY BIUROWE ADMINISTRACJI — CODZIENNIE, OD 10 DO 15.

WIESŁAW CHRZANOWSKI, Prof., Dr. inż.

OBECNIE DOMINUJĄCE KIERUNKI W BUDOWIE TURBIN PAROWYCH [1]).

Audytorium, przed którym mam wygłosić wykład na temat wyżej podany, składa się przeważnie z inżynierów — elektryków. Zrozumiałą jest więc rzeczą, że rozważać będę głównie turbiny kondensacyjne.

Wpływ na rozwój pewnego kierunku w projektowaniu i wytwarzaniu urządzeń maszynowych posiadają przede wszystkim następujące czynniki: rodzaj zapotrzebowania produktu, postęp techniczny w odnośnej dziedzinie i w pokrewnych, stosunki ekonomiczne, a w poważnej mierze także umiejętna reklama. Czynniki wymienione spowodowały też różnorakie, czasem mało usprawiedliwione zmiany kierunków budowy turbin parowych w ostatnim piętnastoleciu.

W książce „Turbiny parowe", wydanej w r. 1923, a pisanej w r. 1921 i 1922, więc w okresie stosowania naogół ciśnienia kotłowego 15 do 18 *atn*, zaznaczyłem na str. 35, że „nowoczesny inżynier, wytwarzający silniki, dążyć będzie całą siłą swej woli do opanowania trudności, nastręczających się przy budowie turbin o możliwie krótkiej i prostej budowie, w słusznym przekonaniu, że przyszłość należy do tego typu". Do tego ideału krótkiej, prostej turbiny zbliżamy się obecnie, po 15-tu latach rozwoju turbin po przez budowę typów bardzo długich, trój — i czterokadłubowych, których wykonywanie często, — ze względu na stosowanie bardzo wysokich ciśnień i temperatur oraz wielkich mocy w jednym silniku, — przy braku odpowiednich materiałów na części wirujące i kadłuby turbin, było usprawiedliwione, lecz w wielu wypadkach było tylko stosowane dla hasła czy mody, popartej umiejętną reklamą. Z okresu tego rozwoju pozostało jednak dużo elementów, które przyczyniły się w wybitny sposób do osiągnięcia obecnych wyników pod względem sprawności turbiny pomimo jej skróconej budowy.

Obecnie dominujące kierunki w budowie turbin parowych wypłynęły z następujących wymagań, wywołanych częściowo może długotrwałym kryzysem ekonomicznym: możliwie małe koszty wytwórcze, małe względnie zużycie pary, uruchamianie turbogeneratora w możliwie najkrótszym czasie, duża niezawodność ruchu.

Taniość silnika wymaga stosowania aż do możliwie największej mocy liczby obrotów $n = 3000$ *obr/min*, a aż do możliwie dużej mocy i do możliwie dużego ciśnienia dolotowego turbin jednokadłubowych, natomiast przy mocy mniejszej, poniżej około 2500 *kW*, turbin szybkobieżnych, pracujących z przekładnią zębatą.

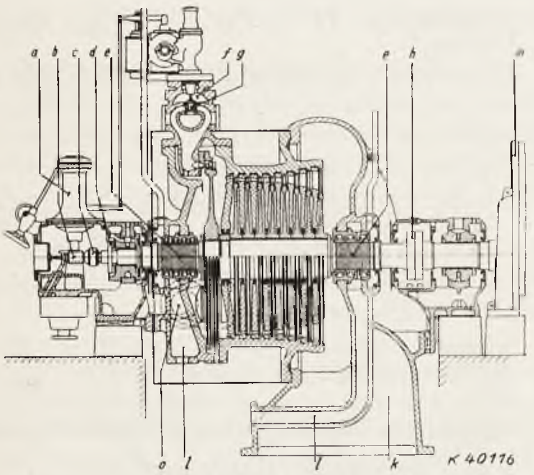
Celem uzyskania taniej budowy zwraca się obecnie nawet mniejszą uwagę na najlepszą sprawność turbiny, dopuszczając np. znacznie większą stratę wylotową niż dawniej, dalej stosując w obrębie wysokich ciśnień większe prędkości pary i wykonywując w osiowych turbinach akcyjnych duże szczeliny osiowe (2 *mm* do 8 *mm*), pomimo braku wyjaśnienia, jak dalece czynniki te wpływają ujemnie na sprawność turbiny. Małe zużycie pary na jednostkę mocy wytworzonej wymaga używania wysokich ciśnień i temperatur, co również ułatwia wykonywanie typów jednokadłubowych, ze względu na mniejszą ilość pary przepływającej, przy dużych mocach, a typów dwukadłubowych dla bardzo dużych mocy, przy $n = 3000$ *obr/min*. W wysokoprężnych turbinach kondensacyjnych konstruktor dąży do stosowania możliwie najwyższych temperatur pary dolotowej, niezależnie od zalecanych norm, aby uniknąć, bez używania skomplikowanego podwójnego przegrzewania pary, zbyt dużej jej wilgotności (powyżej 10% bezwzględnie niedopuszczalne), która

[1]) Wykład wygłoszony w dn. 10.II.38 r. na kursie dla inżynierów — elektryków, urządzonym przez *SEP*.

przy istniejących wielkich prędkościach obwodowych niszczy w krótkim czasie łopatki niskoprężne.

Możność szybkiego uruchamiania turbogeneratora wymaga dużej symetryczności w budowie poszczególnych części, przede wszystkim kadłuba turbiny, oraz stosowania niezbyt małych szczelin, w szczególności osiowych według zapatrywań konstruktorów na kontynencie europejskim, pomiędzy częściami wirującymi i nieruchomymi, niezależnie od specjalnych urządzeń przy kondensacji.

Głównym propagatorem zwiększenia sprawności turbiny parowej, zwłaszcza jej części wysokoprężnej przez stosowanie typów wielokadłubowych, był w okresie wprowadzania ciśnień kotłowych powyżej 20 *atn* *prof. Loesel* (r. 1924 i później), który wówczas był na-



Rys. 1

czelnym inżynierem Pierwszej Berneńskiej Fabryki. Obecne hasło budowy osiowych turbin krótkich i prostych, jednokadłubowych dla możliwie dużej mocy przy jednostrumieniowym przepływie pary, forsuje przede wszystkim *prof. Kraft*, dyrektor fabryki turbin A.E.G. w Berlinie.

W powyższych krótkich słowach scharakteryzowałem obecne dążności w projektowaniu turbin parowych. Teraz przechodzę do omówienia, w jaki sposób zasady zaznaczone zostają urzeczywistniane w konstrukcjach poszczególnych wytwórni. Oczywiście uwzględnię głównie te firmy, które dostarczają turbogeneratory na rynek polski, oraz od których otrzymałem materiał dotyczący tematu obranego, a przedstawię konstrukcje poszczególnych firm w porządku alfabetycznym.

I. Turbiny kondensacyjne pracujące przy n = 3000 obr/min.

Tow. A.E.G. w Berlinie, które posiadało przez pewien okres licencję od Pierwszej Berneńskiej Fabryki na wykonywanie turbin typu *prof. Loesela*, buduje od kilku lat wyłącznie osiowe turbiny akcyjne, stosując w niskoprężnych stopniach turbin kondensacyjnych o dużym przelyku pary pewien procent reakcyjności. Wytwórnia ta, należąca do Tow. *„Ilunion"*, które ma na celu wyzyskanie w szerszym zakresie patentów braci *Ljungstroem* na przeciwbieżną turbinę promieniową, zbudowała też kilka jednostek tego rodzaju, lecz zaniechała dalszej produkcji ich, ponieważ, jak fama głosi, nie osiągnęła w nich spodziewanych wyników pod względem rozchodu pary.

Zasadniczo obecna turbina osiowa *Tow. A.E.G.* składa się z dwuwieńcowego koła Curtisa lub jednowieńcowego koła akcyjnego jako stopnia regulacyjnego i z kilku do kilkunastu stopni akcyjnych. Typ akcyjny posiada tą charakterystyczną właściwość, że najlepsza jego sprawność znajduje się przy stosunkowo nie wielkiej liczbie Parsons'a $q = \frac{\Sigma u^2}{h_s}$ = 1800 do 2000, skutkiem czego powstaje już jego krótsza budowa od typu reakcyjnego. Ostatni wymaga bowiem dla osiągnięcia lepszej sprawności od akcyjnego wykonywania turbin o liczbie Parsons'a powyżej 3000.

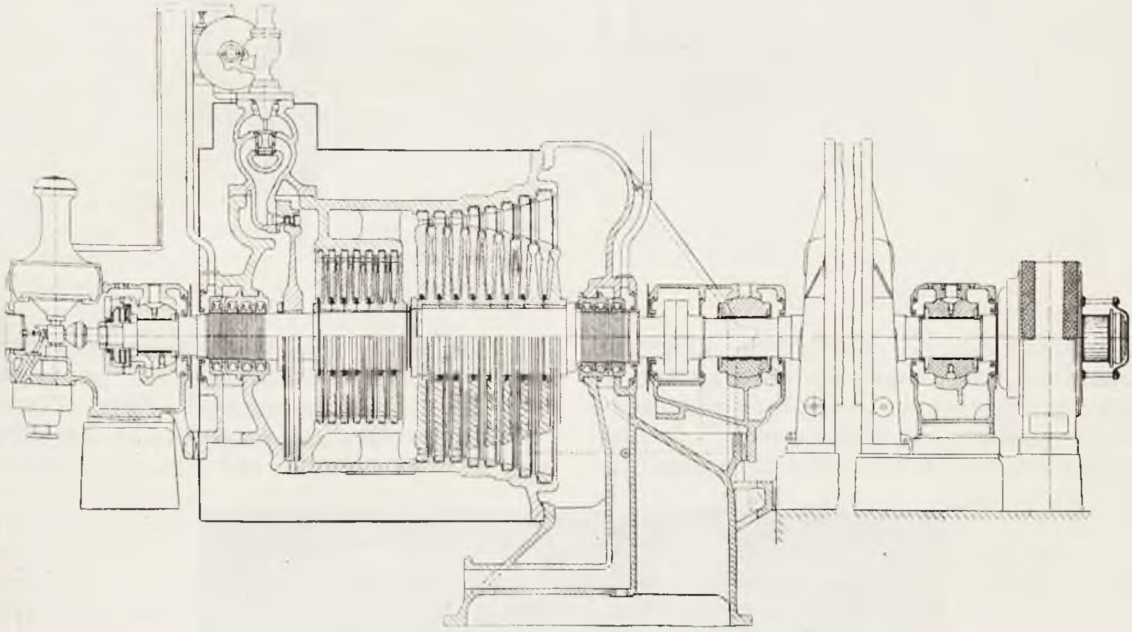
Przy niższych ciśnieniach pary dolotowej, przy których otrzymuje się za stopniem regulacyjnym już tak dużą objętość pary, że łopatki pomimo dużych średnic wirników posiadają przy całkowitym zasilaniu długość dostateczną, więc powyżej 12 *mm*, fabryka *A.E.G.* wykonywa kilkustopniową część akcyjną o jednakowej średniej średnicy wirników, skutkiem czego straty wylotowe zachodzą tylko za kołem Curtisa i za ostatnim wirnikiem. Typ tego rodzaju, stosowany o mocy 1000 do kilku tysięcy *kW*, uwidocznia rys. 1.

Natomiast przy wyższych ciśnieniach dolotowych objętość pary za kołem Curtis'a jest jeszcze tak mała, że w celu uzyskania dostatecznie długich łopatek trzeba stosować albo częściowe zasilanie przy dużych średnicach wirników, albo mniejsze średnice wirników przy całkowitym ich zasilaniu. Ostatnią drogę, powodującą w przekonaniu wytwórcy i większości konstruktorów mniejsze straty, wybiera *Tow. A.E.G.* W wyniku tych założeń powstaje dla warunków rozważanych typ przedstawiony na rys. 2 jako turbina o mocy 5000 *kW* przy $p_1 = 24$ *atn*, $t_1 = 385° C$, $p_4 = 0{,}05$ *ata*, a stosowany aż do około 15000 *kW*. Tutaj zachodzi dodatkowa strata wylotowa przy wylocie pary z części średnioprężnej, a przepływ pary do części niskoprężnej jest połączony ze stratami z powodu wirów.

W typach rys. 1 i 2 korpusy dysz są przytwierdzone do podłużnych skrzynek zaworów regulacyjnych, a wał turbogeneratora

spoczywa tylko w trzech łożyskach. Budowę tą stosuje *Tow. A.E.G.* aż do około 15000 *kW*.

Znaczny uskok średnicy wirników w środku wielostopniowej części akcyjnej zachodzi również we wszystkich turbinach *Tow. A.E.G.* o mocy większej, ponieważ takie jednostki wykonywane są obecnie tylko dla wysokich ciśnień dolotowych. Na rys. 3 widzimy w przekroju jednokadłubową turbinę o jednostrumieniowym przepływie pary dla największej mocy 40000 *kW* przy $p_1 = 40$ *atn*, $t_1 = 450°$ *C*, $p_4 = 0{,}065$ *atn*, a na rys. 4 fotografię do środka długości łopatek, 2000 *mm* przy długości łopatek 460 *mm*, czyli prędkość obwodowa w stosunku do średniej średnicy wynosi $u = 314$ *m/sec* przy $n = 3000$ *obr/min*. Tak wielka prędkość obwodowa wywołuje przy długiej łopatce bardzo duże naprężenia w łopatce i w tarczy wirnikowej. Celem opanowania ich trzeba stosować wysokowartościowe materiały, aby zadość uczynić warunkowi, że wszystkie części powinny posiadać co najmniej 2½-krotną pewność w stosunku do granicy płynności. Pomimo stosowania



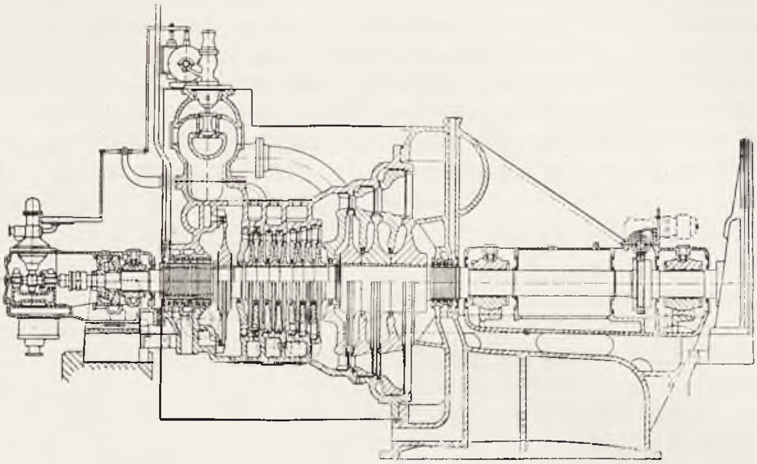
Rys. 2

tego samego silnika. Krótka budowa tego typu przy względnie dużej liczbie Parsons'a wynika stąd, że z powodu dużej ilości pary przepływającej można uzyskać, pomimo małej objętości właściwej pary, dostatecznie długie łopatki przy stosowaniu dużych średnic w pierwszych stopniach akcyjnych za kołem Curtis'a. Duże średnice wirników wymagają dużych prędkości pary, które uzyskuje się przez większy spadek adiabatyczny entalpii w jednym stopniu, czyli mniej stopni ciśnienia o dużych średnicach zapewnia osiągnięcie pożądanej liczby Parsons'a. Dość znaczne zmniejszenie średnicy wirników w części średnioprężnej w stosunku do średnicy koła regulacyjnego (rys 3) wskazuje jednak na to, że *Tow. A.E.G.* nie stosuje zbyt dużej prędkości pary w części średnioprężnej, w której para wysokoprężna posiada małą objętość właściwą.

Największe trudności w budowie przedstawionej, sprawia wykonanie wirnika ostatniego stopnia ciśnienia, bo przez ten stopień przepływa blisko 1000 m^3 pary. Ostatni wirnik posiada średnią średnicę, a zatem liczoną bardzo wielkiej prędkości obwodowej i długich łopatek strata wylotowa w ostatnim wirniku jest stosunkowo duża z powodu konieczności pracy z dużą prędkością pary, bo przy mniejszej prędkości przekrój przepływowy musiał by być jeszcze większy, czyli trzeba by podzielić ostatni stopień ciśnienia na dwie równoległe pracujące części. Nie ulega jednak najmniejszej wątpliwości, że dwustrumieniowy przepływ pary znacznie komplikuje budowę turbiny jednocylindrowej, w szczególności jej kadłuba, skutkiem czego nie tylko zrozumiała, lecz słuszna jest dążność do uzyskania w typach jednokadłubowych przepływu jednostrumieniowego.

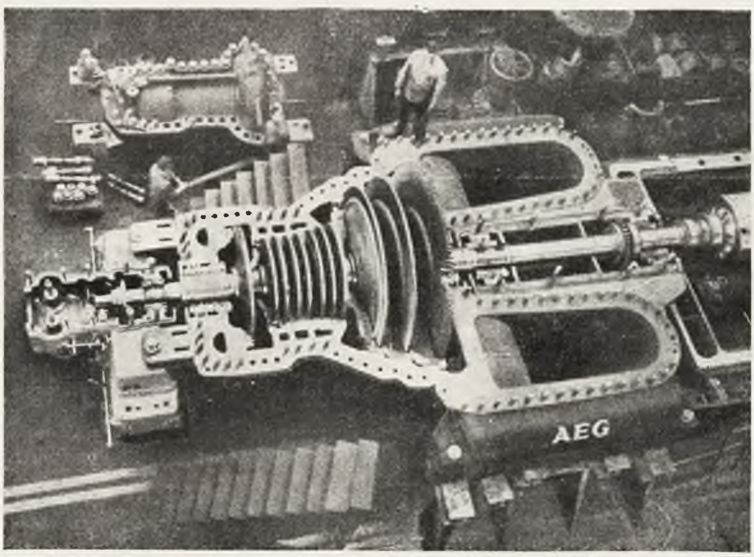
Przechodząc do krótkiego scharakteryzowania szczegółów tej budowy, nadmieniam, że staliwny kadłub spoczywa po stronie wysokoprężnej na łapach w samej osi geometrycznej silnika, a żeliwna rura wylotowa posiada również niezbyt wysoką łapę. Ostatnia jest ustalona względem ramy fundamentowej, a kadłub wydłuża się w ruchu osiowo w kierunku strony wysokoprężnej, zabierając przy

tym łożysko oporowe, czyli także wirnik. Szczeliny osiowe pomiędzy łopatkami kierowniczymi i wirnikowymi wynoszą w części wysokoprężnej 2 *mm*, a dochodzą w niskoprężnej do 8 *mm;* szczeliny te za łopatkami wirnikowymi w kierunku do następnych kierowniczych są jeszcze większe. Wał turbogeneratora, ułożony ze względu na rurę wylotową w czterech łożyskach, jest gibki, przez co zmniejszają się straty pary w dławnicach i naprężenia w piastach nasadzonych tarcz wirnikowych, a równocześnie osiąga się szybsze i równomierniejsze ogrzewanie się wału przy uruchamianiu silnika i zmianach jego obciążenia. Symetryczna budowa i prawidłowy układ kadłuba umożliwiają łącznie ze zastosowanymi dużymi szczelinami bardzo szybkie uruchamianie turbogeneratora, począwszy od stanu zimnego, np. przy mocy 10000 *kW* w ciągu 3 minut, przy mocy 30000 *kW* w ciągu 10 minut, oczywiście jeżeli zastosuje się specjalne urządzenia dla uzyskania w bardzo krótkim czasie próżni w kondensatorze.



Rys. 3

Wieńce łopatkowe wirników budowy *Tow. A.E.G.* posiadają cylindryczne bandaże, co oczywiście zmusza nieraz do stosowania znacznie większych długości łopatek wirnikowych po stronie dolotowej od poprzedzających łopatek kierowniczych. Ostatni wieniec łopatkowy wirnika, pracujący z większą reakcyjnością, nie ma żadnego bandaża, tylko jest usztywniony za pomocą drutów (rys. 5); na rysunku tym widoczne są też kanały odwadniające ostatnie stopnie turbiny. Łopatki wirnikowe tych stopni muszą być przy dużych ich prędkościach obwodowych i nieuniknionej — wobec wysokiego ciśnienia pary dolotowej — dość dużej wilgotności pary wyjątkowo odporne na zniszczenie przez erozję. W tym celu *Tow. A.E.G.* wykonywa te łopatki albo z wysokowartościowego materiału Kruppa *W.F. 100*, albo też z mniej kosz-



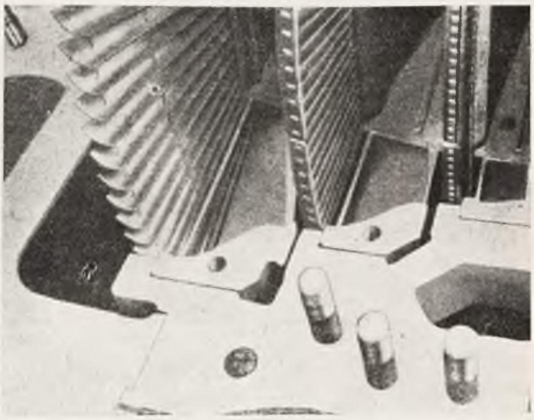
Rys. 4

townego *A.K. 10*, zbliżonego do t. zw. stali nierdzewnej, lecz hartuje w tym wypadku krawędzie dolotowe łopatek, aby otrzymać twardość materiału około 600 kg/mm^2 według Brinella.

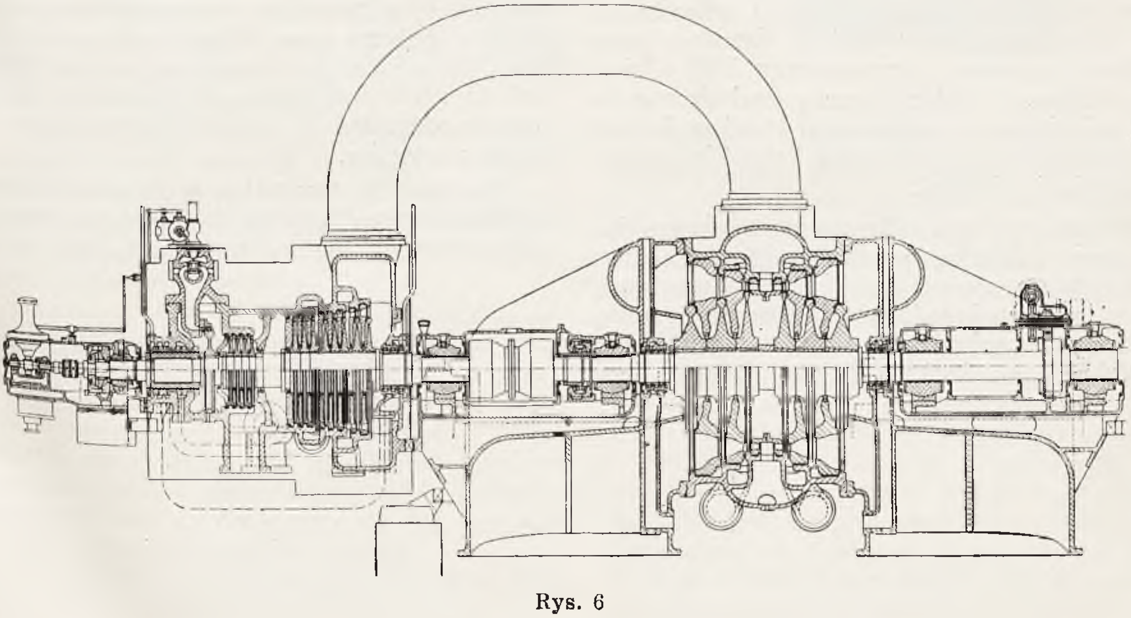
Typ jednokadłubowy (rys. 3 i 4) wykonywa *Tow. A.E.G.* o mocy aż do 45000 *kW* i aż do ciśnienia 60 *atn*. Firma ta podaje w swych publikacjach, że turbina o największej mocy 45000 *kW* przy p_1 = 50 *atn*, t_1 = 500° *C*, p_4 = 0,065 *ata* (woda chłodząca 27° *C*) zużywa przy najekonomiczniejszym obciążeniu 3,5 *kg/kWh* odnośnie do mocy na sprzęgle, czyli posiada sprawność $\eta_e \simeq$ 80.5% i zużywa około 1,5% więcej pary od kosztowniejszej turbiny dwukadłubowej. Strata wylotowa ma dochodzić przy pełnym obciążeniu do 4%. Oczywiście ta sama turbina wytworzy przy chłodniejszej wodzie o 15° *C*, czyli przy p_4 = 0,04 *ata* maksymalnie tylko 35000 *kW*; — zużycie pary będzie wtedy około 5% mniejsze, a sprawność $\eta_e \simeq$ 81,4%. W typach o mniejszych mocach strata wylotowa jest mniejsza, lecz różnica zużycia pary w turbinie jedno — i dwukadłubowej wzrasta, dochodząc przy najekonomiczniejszym obciążeniu do 3% według twierdzeń *Tow. A.E.G.*

Niestety nie znalazłem w literaturze żadnej publikacji o pomiarach odbiorczych powyższych typów jednokadłubowych turbin o bardzo wielkiej mocy. Trudno więc powiedzieć cośkolwiek pozytywnego o różnicy zużycia pary jednakowych jednostek jedno — i dwukadłubowych.

Tow. A.E.G. stoi na stanowisku, że jednokadłubowa turbina parowa pracująca z kondensacją o dużej mocy aż do 45000 *kW* czyni obecnie zadość wszelkim wymaganiom pod względem niezawodności ruchu i szybkiego uruchamiania, a bardzo mało ustępuje kosztowniejszej dwukadłubowej pod względem zużycia pary. Z tej przyczyny wytwórnia ta zaleca używanie kondesacyjnego typu dwukadłubowego z cylindrem niskoprężnym o dwukierunkowym przepływie pary tylko wówczas, gdy warunki pary, wody, oraz mocy zmuszają do tego. A zatem typ dwukadłubowy jest polecany, gdy spadek adiabatyczny entalpii jest większy od wynikającego z poprzednio wymienionych danych, więc przede wszystkim przy wyższym ciśnieniu pary dolotowej od około 60 *atn*, choćby moc była mniejsza od 45000 *kW*, a również przy zimniejszej wodzie chłodzącej i jednocześnie dużej mocy, lub też przy niższym ciśnieniu pary dolotowej i jednocześnie dużej mocy, bo w tych dwóch wypadkach ostatni wirnik nie może opanować wielkich objętości pary przepływającej. Dwukadłubowa turbina parowa wymaga jednak dłuższego



Rys. 5

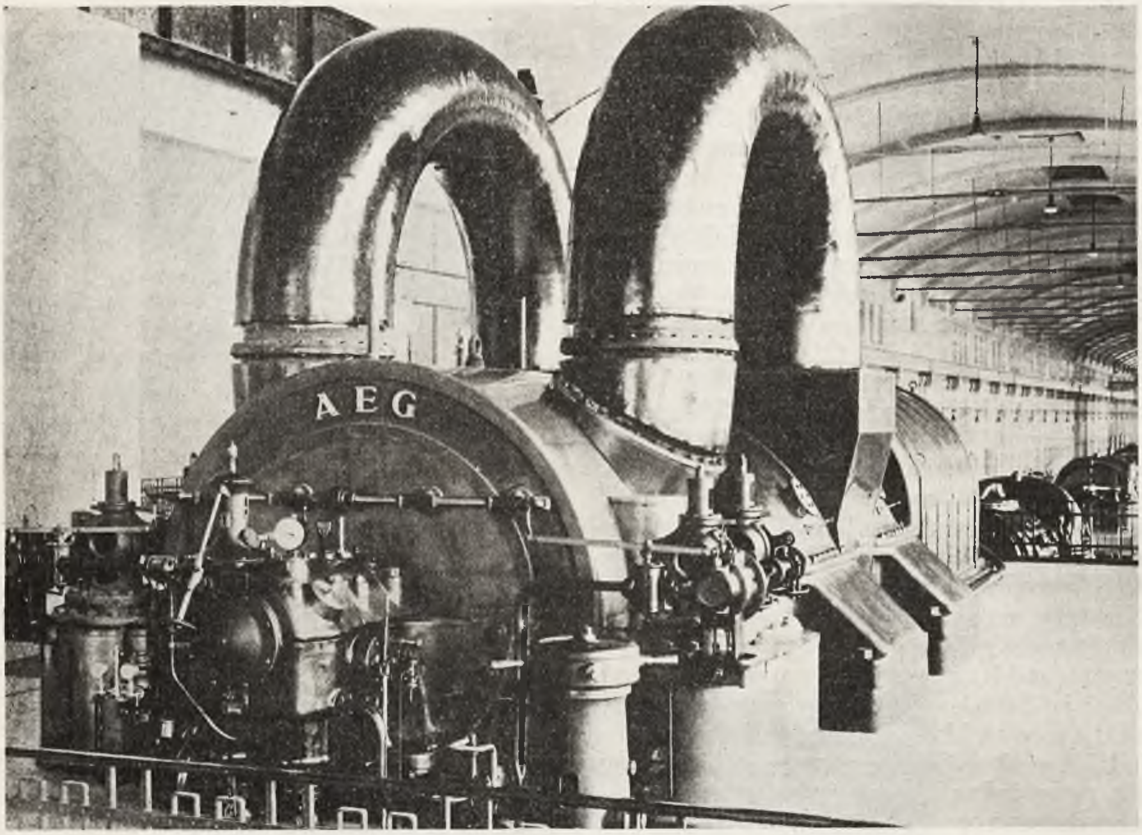


Rys. 6

czasu na uruchomienie, mianowicie około 30 minut.

Obecnie *Tow. A.E.G.* buduje szereg kondensacyjnych turbin dwukadłubowych o mocy 35000 *kW* dla 100 *atn* ciśnienia dolotowego i szereg o mocy 50000 *kW*. Ostatni typ o mocy 50000 *kW* dla $p_1 = 110$ *atn* i $t_1 = 500^0$ *C* widzimy na rys. 6. Ze względu na zmniejszenie w części niskoprężnej dużej wilgotności pary, która przy tak wysokim ciśnieniu pary dolotowej pomimo temperatury 500° *C* jest nieunikniona, a która niszczy nadmiernie łopatki wirnikowe, zastosowano tutaj podwójne przegrzewanie pary. Ostatnie komplikuje zawsze instalację siłowni.

W danym wypadku para odpływa już w połowie kadłuba, wysokoprężnego do drugiego przegrzewacza, dzięki czemu przewody rurowe nie posiadają zbyt dużych średnic. Z cylindra wysokoprężnego para płynie dwiema rurami (rys. 6-a.) do niskoprężnego o dwukierunkowym przepływie pary. Dwa wirniki ostatniego stopnia mogą więc opanować podwójną objętość pary jak ostatni wirnik jednokadłubowej turbiny o jednostrumieniowym przepływie. Z tego wynika, że powyższa turbina dwukadłubowa mogła by być zbudowana dla mocy aż do około 90000 *kW*, gdyby zbudowano generator o tej mocy dla $n = 3000$ *obr/min*. Nadmieniam, że generator o mocy 60000 *kW* przy $n = 3000$ *obr/min* w wykonaniu firmy *Siemens* pracuje w centrali Schelle już od kilku lat, wobec czego można na tym polu spodziewać się w najbliższym czasie dalszych postępów.



Rys. 6a

Oczywiście wszystkie nowoczesne turbiny kondensacyjne pracują z upustem pary do podgrzewania wody zasilającej kotły[2]).

(d. c. n.).

[2]) Patrz „Przegląd Elektrotechniczny" rok 1936, Nr 9, str. 286.

B. GRABOWSKI, inż. techn.

ŻELIWNE KOTŁY OGRZEWAŃ CENTRALNYCH I ICH SPRAWNOŚĆ.

(Por. *Technika Cieplna*, 1938, str. 36).

Zrozumiałym jest również, że tak cienka warstwa azbestu nie na długo starczy.

Pokrywki powinny być cechowane w kolejności otworów, ażeby po każdorazowym czyszczeniu nie było kłopotu z uszczelnianiem, tym bardziej, że na to niestała obsługa kotła nie ma zwykle czasu.

Nie można powiedzieć, aby umieszczenie przez konstruktora wspomnianych pokrywek na krzywych powierzchniach było szczęśliwie pomyślane — wynika to jednak z formy owalnej elementów i jest konstrukcją gorszą od typów kotłów złożonych z elementów formy prostokątnej, w których pokrywki otworów do kanałów, ostudzając gorące spaliny i niszmają oparcie na płaszczyznach poziomych.

W tym ostatnim wypadku znacznie łatwiej jest osiągnąć należytą szczelność pokryw, zasypując powierzchnię styku warstwą miałkiego, suchego piasku, co należy czynić po każdorazowym oczyszczeniu kotła.

W tym miejscu, gdzie kocioł składający się z elementów owalnych opiera się na swej podstawie żeliwnej, tworzy się szpara, którą monter podczas składania kotła musi należycie i trwale uszczelnić.

O ile to nie nastąpiło, zimne powietrze zewnętrzne przedostawać się będzie stale do wnetrza podstawy, czyli czopucha i niszczyć będzie ciąg.

Sprawę pogarsza jeszcze ta okoliczność, że — po ustawieniu kotła — pod otuliną znajduje się około 60% tej szpary, która jest wskutek tego niewidoczna i trudna do sprawdzenia, co do należytej szczelności powietrznej.

Niejednokrotnie stwierdzałem podczas badań tego typu kotłów, że szpara powyższa zupełnie nie była uszczelniona.

Dolne boczne pokrywy żelazne w podstawie kotła uszczelniane są w kotłach oryginalnych tego typu za pomocą tylko dwuch zacisków, umocowanych po środku boków pionowych; znacznie dłuższe boki podłużne pozostawione są bez zacisków.

Bardzo rzadko zdarzało mi się podczas badań, stwierdzać szczelność takich pokryw, nawet u kotłów nowoustawionych.

Pokrywy te muszą być często otwierane w celu usuwania z czopucha popiołu i sadzy, wskutek czego dwa słabe zaciski nie są w stanie odpowiedzieć potrzebom; zwykle jeden lub nawet obydwa są obłamane lub też poruszyć ich bez użycia młotka nie można.

W takich wypadkach pokrywa jest tylko luźno przystawiona do otworów.

W ten sposób tworzą się już szpary bardzo szerokie, niekiedy na całym obwodzie pokryw, co oczywiście niszczy prawie zupełnie ciąg kotła.

Spotykałem niejednokrotnie szpary u tego rodzaju kotłów pozatykane zwitkami papieru lub gałganami.

Jest to zjawisko, spotykane u kotłów tego typu prawie w 90%, wynikające z nieprzemyślanej konstrukcji.



Rys 9

Obecnie jedna z firm krajowych wyrabiająca kotły typu owalnego, wykonuje pokrywy o których mówiliśmy z grubszej blachy i uszczelnia je za pomocą czterech zacisków — należy więc przy zamawianiu żądać takiego wykonania pokryw.

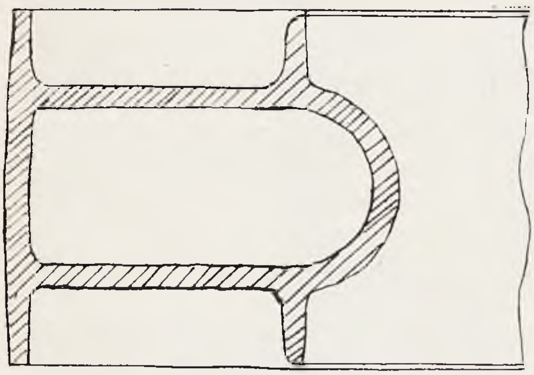
Przy obstalunkach i odbiorze należy żądać mocnych pokryw trwałych i uszczelnionych na swych pionowych i podłużnych bokach za pomocą dostatecznej ilości zacisków kutych a nie kuto - lanych, żeliwnych (rys. 9).

O ile zrozumiałe jest, że powietrze zimne, przedostające się przez szpary pod pokrywami otworów do czyszczenia kanałów międzyelementowych i ostudzając spaliny gorące, powoduje wprost bezpośrednio straty paliwa, o tyle znaczenie niszczącego wpływu powietrza

zimnego, przedostającego się do kanałów i czopuchów kotła, na ciąg wymaga pewnego oświetlenia.

Kotły żeliwne typu owalnego wymagają ciągu około 2 *mm* słupa wody.

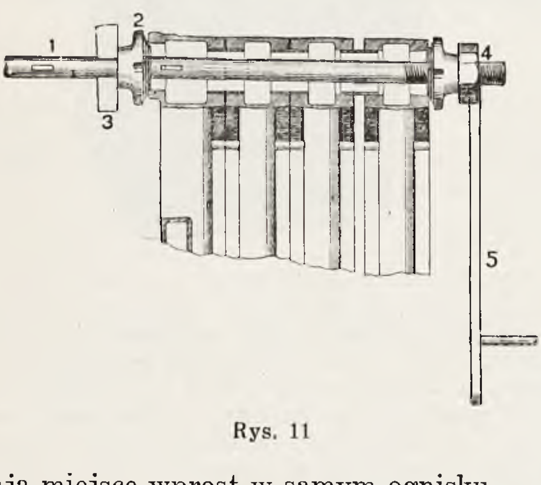
Jest to ciąg bardzo nieznaczny, jeżeli więc wskutek wyżej szczegółowo opisanych a szkodliwych nieszczelności, zimne powietrze zniszczy nam znaczną część tego ciągu, to koks



Rys. 10.
Przekrój środkowego elementu kotła typu owalnego.

już nie będzie się palić, tylko tlić, co ze swej strony obniża temperaturę paleniska i usuwa możność wyzyskania ciepła, pociągając znów w rezultacie niepowetowane straty paliwa.

Oświetliwszy znaczenie i szkodliwy wpływ na rozchód paliwa zewnętrznych nieszczelności powietrznych kotła żeliwnego, należy jeszcze zwrócić uwagę na straty paliwa, jakie



Rys. 11

mają miejsce wprost w samym ognisku — jamie paleniskowej.

Kanały międzyelementowe, okalające z obydwu stron bocznych jamy paleniskowe, odprowadzające spaliny gorące z części górnej jamy paleniskowej do czopucha kotła, mają wyzyskać na krótkiej stosunkowo przestrzeni ciepło spalin przed ujściem do komina.

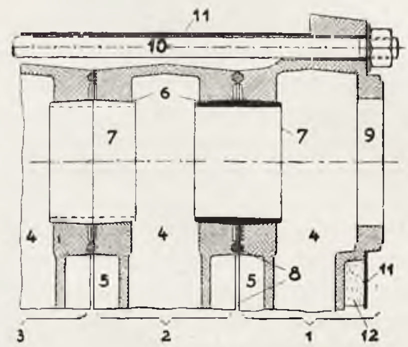
Kanały mają tylko jeden kierunek z góry na dół w kotłach tego typu.

Dla obniżenia kosztów produkcji kotła, drugorzędne wytwórnie dopuszczają do tego, że żebra przylane do elementów kotła typu owalnego, które przez wzajemny styk powinny tworzyć szczelne kanały międzyelementowe, w rzeczywistości ze strony jamy paleniskowej posiadają niekiedy szpary szerokości od 5 — 10 *mm* na całej swej długości.

Forma żeber w takim wadliwym wykonaniu uwidoczniona jest na rys. 10.

Nic nie zmusi spalin do odbywania drogi do górnej jamy paleniskowej i stamtąd dopiero przez kanały międzyelementowe do czopucha, jeżeli znajdzie się droga krótsza, przedstawiająca mniejsze opory, mianowicie z ogniska przez szpary między żebrami do czopucha, omijając przy tym znaczną część powierzchni ogrzewalnej.

Trzeba jeszcze zaznaczyć, że gazy w palenisku muszą mieć czas i odpowiednią prze-



Rys. 12

strzeń dla należytego spalenia się; w wypadku, kiedy palenisko okrążone jest szeregiem szpar pomiędzy żebrami, powstają straty paliwa, ponieważ gazy palne nie mają czasu spalić się należycie.

Należy żądać i dopilnować podczas odbioru kotła żeliwnego, ażeby żebra elementów ze strony jamy paleniskowej nie tworzyły szpar.

W tym celu stykające się powierzchnie żeber muszą być płaskie, a nie zaostrzone, jak to przedstawione jest na rys. 10, przy czym płaszczyzny stykowe powinny posiadać rowki, w których znajdzie oparcie przed wypadnięciem ogniotrwały kit żelazny, jakim wypełnia się przestrzeń pomiędzy żebrami przed ściągnięciem każdych dwóch poszczególnych elementów ze sobą (rys. 11 i 12).

W ten sposób pozostawiona przy obróbce elementów nieszczelność (rys. 13) około 1,5 *mm* wypełniona zostaje w sposób trwały kitem żelaznym, sama zaś jama paleniskowa posiada wskutek tego tylko w górnej swej części ujścia dla spalin w formie otworów czerpnych kanałów międzyelementowych.

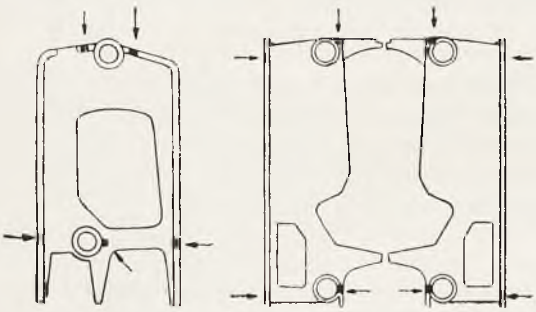
Czopuch murowany pomiędzy kotłem a kominem musi być zupełnie szczelny, w

przeciwnym razie nastąpi brak ciągu, co już wyżej szczegółowo wyjaśniliśmy.

Nieszczelności w murze czopucha można łatwo i w sposób prosty usunąć.

Należy unikać długich poziomych czopuchów.

Wszelkiego rodzaju ostre kąty przy zmianach kierunku również nie powinny mieć miejsca.



Rys. 13

Czopuch poziomy musi stale wznosić się w kierunku komina.

Przekrój czopucha powinien być conajmniej o 15 do 20% większy od przekroju ko-



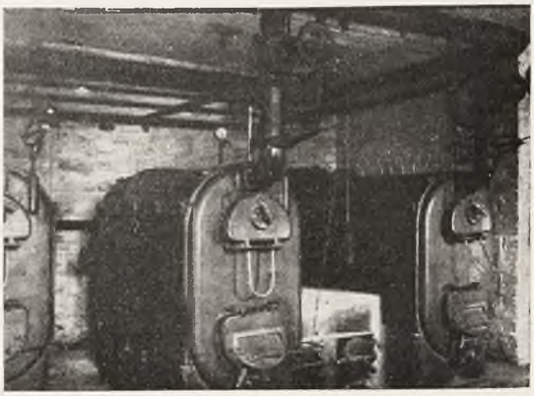
Rys. 14

mina, przy czym szerokość czopucha należy stosować zawsze mniejszą od wysokości.

Niestety mało uwagi się zwraca na należyte i staranne tynkowanie czopuchów ze strony wewnętrznej, co jednak stanowi bardzo ważny warunek zachowania ciągu.

Przy obstalunku i podczas odbioru należy zważać, aby drzwiczki względnie wyczystki, w jakie zaopatrywane są w celu przeczyszczania czopuchy murowane, były trwałe i zamykały się zupełnie szczelnie (rys. 14 i 15).

Podczas badania instalacji ogrzewniczej wykonanej ostatnimi czasy przez jedną z



Rys. 15

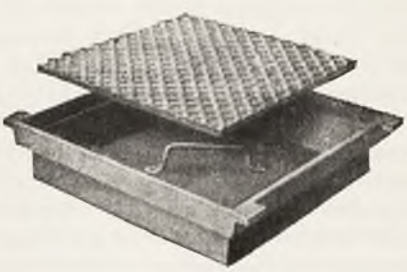
większych firm, stwierdziłem, że otwory o wymiarach 300 × 300 *mm*, przeznaczone do czyszczenia czopuchów murowanych, były przykryte pokrywami z blachy grubości 1 *mm*, które się zaraz pokrzywiły, wskutek czego potworzyły się szpary, w jednym zaś miejscu, pokrywa była tylko przystawiona do otworu — nawet śladu zacisków nie było.

Poziome wyczystki należy stosować podwójne; dolną blachę w celu uszczelnienia, należy zasypywać suchym miałkim piaskiem.

Takiego rodzaju wyczystka pokazana jest na rys. 16.

Z powyższego wynika, że sprawność kotła żeliwnego zależy od konstrukcji, wykonania i w pierwszym rzędzie od stanu kotła, gdzie szczelność powietrzna ma znaczenie główne.

Kocioł żeliwny będzie ekonomicznie pracował, czyli mało zużywał paliwa, jeżeli będzie należycie wykonany, instalator sumien-



Rys. 16

nie go ustawi i następnie, jeżeli podczas pracy będziemy o niego dbali, usuwając w porę starannie i umiejętnie braki wyżej szczegółowo omówione.

Dla uzasadnienia przytoczonych na wstępie cyfr łatwo osiągalnej sprawności praktycznej kotłów żeliwnych, przedstawimy najsampierw tę sprawę w stosunku do omawianych

kotłów formy owalnej o tak zwanym spalaniu górnym.

Rzut oka na przekrój jamy paleniskowej kotła o spalaniu górnym w stanie czynnym uwidacznia, iż mamy do czynienia do pewnego stopnia właściwie z generatorem gazu, jakich używa się dla maszyn na gaz ssany.

Potrzebne do spalania powietrze po przejściu przez ruszta przechodzi przez płonącą warstwę koksu w jamie paleniskowej.

Wytworzone spaliny częściowo dopalają się w wolnej przestrzeni jamy i następnie dążą do wylotów czerpnych kanałów międzyelementowych, ażeby resztę zawartego ciepła oddać ściankom kotła.

Znaczna część powierzchni jamy paleniskowej znajduje się w bezpośrednim zetknięciu z płonącą warstwą koksu, co powoduje bardzo energiczne przewodnictwo ciepła.

W miarę zmniejszania się płonącej warstwy spada sprawność kotła, co zachodzi również i po zarzuceniu do jamy paleniskowej nowej ilości koksu, zanim paliwo się nie rozpali.

To zjawisko jest przyczyną wahania się wydajności kotłów tego typu, i co za tym idzie ich sprawności.

W zależności od grubości warstwy koksu w jamie paleniskowej i intensywności, z jaką odbywa się spalanie, otrzymujemy w spalinach górnej części jamy nad płonącą warstwą nie tylko CO_2, lecz także w większej lub mniejszej ilości niedopalone gazy, przy czym n. p. prof. Bache znalazł podczas prób w warunkach laboratoryjnych 0,4% CO, podczas gdy znany dr. inż. Grahl w swych badaniach praktycznych dotyczących sprawności kotłów żeliwnych. stwierdził w warunkach zwykłej codziennej pracy w spalinach nie tylko CO. lecz także H_2 i CH_4, przy czym podczas jednego z badań strata koksu tylko z powodu obecności CO wynosiła 18,59%.

Powyższe straty stałe do pewnego stopnia potęgują się i występują szczególnie jaskrawo w dwuch następujących wypadkach.

Kiedy podczas sezonu opałowego zewnętrzna temperatura powietrza nie wymaga pełnej wydajności kotła, dostateczny jest przytłumiony ogień w palenisku, jednak dzięki wadliwej konstrukcji kotła, w warstwie paliwa, jaka zawarta jest w jamie, nie przestają wydzielać się gazy, które w znacznej mierze już w stanie niespalonym uchodzą bez pożytku.

Podczas wzmożonej pracy kotła cała zawartość paliwa w jamie paleniskowej znajduje się w stanie rozżarzonym i jeżeli wtedy z tych lub innych powodów zapotrzebowanie zmniejszy się, to miarkownik jest bezsilny by powstrzymać działanie zmagazynowanego ciepła, wskutek czego następuje wtedy przy kotłach parowych wyrzucenie wody z zapory wodnej i ujście pary na zewnątrz, zaś przy ogrzewaniach wodnych zupełnie zbędne przegrzanie wody.

Już opisany powyżej przebieg spalania daje możność wywnioskować, że kotły o spalaniu górnym powinny posiadać znaczną chwilową wydajność, natomiast współczynnik sprawności może być tylko mierny.

Najwięcej zbliżone do rzeczywistości będą dane osiągnięte przez p .H. Bache profesora Politechniki w Kopenhadze i ogłoszone w „Uddrag af Gartnertidende nr. 36, z dnia 5. 9. 1916".

Dnia 8. i 9. czerwca 1916 był badany kocioł żeliwny typu owalnego, zbudowany przez duńską firmę De Forende Jernstöberrier o pow. ogrzew. 5 m^2.

Jako paliwo stosowany był koks o użytkowej wartości opałowej 6252 *kcal*. przy zawartości popiołu 8,22% i wody 12,03%.

(D. c. n.)

SPAWANIE MIEDZI I JEJ STOPÓW.

W spawaniu miedzi ważną rolę odgrywają dodatki do składu chemicznego, które działają odtleniająco. Najważniejszym środkiem odtleniającym jest fosfór, który w wysokości 0,045% P przy spawaniu acetylenem wystarcza do zupełnego odtlenienia tak materiału dodatkowego jak i spawanego materiału macierzystego. Taki sam wpływ wywierają następujące dodatki: 0,031 do 0,033% Si, 0,12 do 0,13% Mn, 0,140 do 0,157% Zn, 0,031 do 0,034% Al, 0,054 do 0,058% Mg, 0,020 do 0,022% Be, 0,075 do 0,080% Cr, 0,25 do 0,27% Cd, albo 0,052 do 0,058% Ti.

Na własności miedzi oddziaływują następujące składniki stopowe: cyna, cynk, nikiel, krzem, aluminium, beryl, kadm, srebro, ołów, arsen, chrom, żelazo i fosfór. Tak więc cały szereg domieszek do miedzi wpływa na jej własności i jest równocześnie środkiem odtleniającym.

Wpływ drobnych domieszek na spawalność miedzi.

Przy spawaniu miedzi odgrywają rolę następujące drobne domieszki: tlen, arsen, fosfór, srebro, krzem, cynk, cyna, mangan, nikiel, aluminium, beryl, kadm, ołów, żelazo, chrom, magnez, wapno, bor, antymon, bizmut, telur, sód, potas, węgiel, siarka, wodór i in. Z tych tylko tlen, arsen i fosfór spotykają się w materiale macierzystym w takich ilościach, że mogą mieć wpływ na spawanie, gdy tymczasem inne składniki mogą być rozważane tylko jako domieszki do pałeczek.

Tlen występuje w miedzi w ilościach od 0,02 do

0,08% O_2, tworząc tlenki miedzi od 0,17 do 0,71% Cu_2O, które mogą obniżyć wytrzymałość spawanego połączenia do 60%. To obniżenie wytrzymałości może pochodzić z dwu powodów. Jeśli ogrzejemy miedź powyżej temperatury topliwości eutektyki $Cu - Cu_2O$, lecz poniżej temperatury topliwości miedzi, to po ostudzeniu znajdziemy kryształy, otulone cienką warstwą eutektyki: miedź — podtlenek miedzi, które osłabiają własności wytrzymałościowe miedzi. Przez wyżarzenie można zmniejszyć wpływ niekorzystnego wydzielania się eutektyki.

Drugim powodem zmniejszenia wytrzymałości połączenia acetylenowego spawu miedzi z zawartością tlenu jest dyfuzja wodoru z miedzią podczas spawania i tworzenie się pary wodnej przez redukcję Cu_2O. Para wodna o wysokim ciśnieniu wywołuje wewnętrzne rysy w miedzi, które są przyczyną bardzo dużej kruchości spoiny. Wady te nie występują przy spawaniu miedzi, zawierającej dodatki odtleniające.

Długoletnie doświadczenia ze skrzyniami ogniowymi z miedzi z zawartością arsenu wykazały, że arsen nie wywiera szkodliwego wpływu na dobroć spoiny. Domieszka arsenu podwyższa plastyczność w stanie zimnym i gorącym, ponieważ nie pozwala na wyżej opisane tworzenie się eutektyki, powodującej kruchość miedzi.

Jako dodatek do pałeczek fosfór znajduje szerokie zastosowanie, gdyż redukuje on wszystkie tlenki miedzi, zaś powstające tlenki fosforu uchodzą jako para.

Drobna pozostałość fosforu o 0,01 do 0,04% P podwyższa ciągliwość i wytrzymałość miedzi, jednak przy zawartości 0,5% P miedź staje się kruchą w temperaturze czerwonego żaru. Podczas gdy tlen bardzo nieznacznie zmniejsza przewodnictwo elektryczne miedzi, to 0,05% As obniża je o 20%, a 0,042% P o 25%.

Podobnie jak arsen również i srebro często znajduje się w rudach miedzi. Już 0,1% Ag podwyższa temperaturę rekrystalizacji miedzi z 185° na 325° i znacznie wpływa na rozdrobnienie ziarna. Przewodnictwo elektryczne jeszcze się nie pogarsza przy 4% Ag. Tlenki srebra dyssocjują przy 300°, dlatego srebro nie działa odtleniająco. Tlenki srebra nie wpływają na spawal ność miedzi.

Krzem jest dobrym środkiem odtleniającym i pożytecznym elementem stopowym. Dwutlenki krzemu podczas spawania tworzą z tlenkami miedzi gęsto płynną szlakę, która utrudnia spawanie. Zawartość manganu albo cynku w metalu lub tlenków sodu w topniku czynią szlakę lekkopłynną i dobrze uchodzącą ze stopionego metalu.

Zawartość do 4% Si podwyższa wytrzymałość i wydłużenie. Przy wyższych zawartościach krzemu w temperaturze powyżej 800° C miedź jest kruchą, co trzeba uwzględnić przy kuciu spoiny. Przewodnictwo elektryczne miedzi zostaje znacznie obniżone przez krzem.

Cynk w zawartości poniżej 1% ma podrzędne znaczenie. W ogólności tlenek cynku nie przeszkadza podczas spawania, ponieważ wydziela się na zewnątrz płynnej spoiny.

Cyna utlenia się łatwiej od miedzi, jednak nie jest środkiem odtleniającym i dlatego cyny używa się równolegle z fosforem, który redukuje także tlenki cyny. Poniżej 1% Sn wydłużenie na gorąco nie ulega zmianie.

Mangan jest środkiem nie tylko odtleniającym lecz również odsiarczającym. Tlenki manganu tworzą z tlenkami miedzi łatwopłynną szlakę.

Stopy o niskiej zawartości niklu mają małe znaczenie. Nikiel nie działa odtleniająco, tylko tak samo jak miedź musi być odleniony i odsiarczony. Tlenki niklu dają się trudno upłynniać z dotychczas stosowanymi topnikami. Ze względu na znaczny ciężar właściwy tlenków niklu ustępują one bardzo trudno ze stopionego metalu i dlatego sprawiają trudności. Pałeczki z zawartością tylko 0,1% Ni mogą się nadawać do spawania grubszych płyt.

Zawartość aluminium od 0,02 do 0,03% w pałeczce tworzy na powierzchni stopionego metalu zwartą warstwę utlenioną, która utrudnia spawanie. Topniki trochę polepszają sytuację. Aluminium jest silnym środkiem odtleniającym. Plastyczności na zimno nie pogarsza. Obniżenie przewodnictwa elektrycznego jest większe niż przez nikiel lub cynę, ale mniejsze niż przez fosfór, krzem i mangan. Naogół wady przez obniżenie spawalności są większe, niż zalety, jakie wnosi aluminium.

Beryl posiada dużą skłonność do łączenia się z tlenem i dlatego jest środkiem odtleniającym. Duże trudności nastręcza upłynnienie tlenków przez topniki.

Kadm podczas spawania w dużej mierze się ulatnia. Tlenki są ciężkie i trudne do upłynnienia przez topniki.

Ołów ze względu na nierozpuszczalność w miedzi w stanie stałym i ze względu na swą niską temperaturę topliwości 327°, już przy zawartości 0,1% czyni miedź kruchą na gorąco. Podczas spawania tworzy zwartą warstwę, która utrudnia spawanie. Ołów nie wchodzi w rachubę jako stop do pałeczek.

Podczas spawania pałeczkami z zawartością żelaza tworzy się powłoka, która przerywa łączność z metalem i jest trudna do usunięcia przez topniki. Dlatego żelazo nie jest pożądane w pałeczkach. Także topliwe w wysokich temperaturach tlenki chromu utrudniają spawanie, ponieważ topniki rozpuszczają je tylko w małym stopniu.

Magnez jest silnym środkiem odtleniającym i odsiarczającym. Pałeczki z zawartością 0,06% Mg, przy użyciu jako topnika kwasu bornego z 20% chlorkiem sodu, dawały spaw o powierzchni porowatej, lecz wewnątrz zdrowy.

Tlenki wapnia pomimo wysokiego punktu topliwości są łatwe do wyszlakowania, dlatego wapń powinien być szerzej zbadany jako środek odtleniający.

Ponieważ tlenek boru nadaje się jako topnik, należałoby więc oczekiwać dodatnich wyników z pałeczkami z dodatkiem boru jako środka odtleniającego. Jednakże nie udało się zrobić tego rodzaju pałeczek.

0,85 % antymonu czyni miedź kruchą na gorąco. Ponieważ antymon silnie obniża temperaturę krzepnięcia miedzi przy 1% Sb o około 60°, dlatego może być pożytecznym dodatkiem do pałeczek dla spawania pionowego i ponad głową, o ile kruchość na gorąco nie wykluczy jego zastosowania.

Bizmut przy zawartości powyżej 0,005% Bi pogarsza obrabialność miedzi. Podobnie działa tellur.

Sód i potas nie rozpuszczają się w miedzi i w temperaturze jej topliwości zupełnie się ulatniają.

Węgiel jest w miedzi nierozpuszczalny, dlatego można miedź spawać za pomocą elektrody węglowej.

Siarka jest szkodliwa dla stopów miedzi i niklu. Utrudnia ona obrabialność i dobroć spawanego metalu. Jeśli siarka znajduje się w metalu lub w płomieniu, to trzeba zastosować środki odsiarczające, jak magnez, lit, cynk lub aluminium.

Stopiona miedź, odtleniona wodorem, pochłania go, a następnie wydziela podczas stygnięcia. Ponieważ metal krzepnie na powierzchni, wodór nie może ujść z wewnętrznych warstw, wskutek czego materiał staje się porowaty.

Spawanie miedzi

Spawanie acetylenowe. Miedź posiada tak duże przewodnictwo cieplne, że trudno jest w dużej blasze uzyskać miejscowe natopienie materiału. Okrywanie azbestem nie dużo pomaga. Trzeba więc podgrzewać element. Przy spawaniu w lewo, stosowanym do cienkich blach, uzyskujemy podgrzanie przez kierunek płomienia; blachy grubsze spawa się metodą w prawo ze względu na większe skoncentrowanie ciepła.

Obok podgrzewania w piecach częściej stosuje się podgrzewanie drugim płomieniem. Przy szwach pionowych poleca się spawanie z dwóch stron dwoma palnikami w kierunku z dołu do góry. Jeśli dostęp jest tylko z jednej strony, to jednym palnikiem podgrzewa się materiał, ewentualnie układa się małą spoinę, a w odległości około 50 *mm* przy pomocy drugiego palnika nakłada się właściwą spoinę.

Przygotowanie blach do spawania zależy od ich grubości.

Przy cienkich blachach do 1,5 *mm* odgina się krawędzie, zczepia w odstępach około 15 *cm* i spawa bez użycia materiału dodatkowego.

Przy grubościach blach od 1,5 do 5 *mm* łączone krawędzie rozsuwa się na odległość równą połowie grubości blachy. Krawędzie blach nie są ukosowane.

Przy grubościach do 12 *mm* blachy są spawane na *V*, zaś przy większych grubościach na *X*. Rozsunięcie blach zależy od szybkości spawania i rośnie w kierunku spawania.

Jako materiału dodatkowego można używać miedzi z zawartością tlenu, ponieważ płomień acetylenowo-tlenowy jest silnie redukujący; oczywiście lepszy jest materiał odtleniony.

Najważniejszym środkiem odtleniającym, którego dodaje się najczęściej do pałeczek, jest fosfór. Ażeby osiągnąć mocny i zdrowy szew, dodaje się jeszcze mangan, cynk lub najczęściej srebro w drobnych ilościach. Dąży się do wyszukania środka odtleniającego, któryby wydłużenie na gorąco mniej obniżał niż fosfór i jednocześnie był tańszy niż srebro.

Jako topników używa się kwasu bornego i boraksu bądź osobno, bądź z dodatkami chlorku sodu lub fluorku sodu. Rzadziej dodaje się fosforany i krzemiany.

Celem osiągnięcia wysokiej wytrzymałości spoiny, trzeba dbać, ażeby metal macierzysty starannie był przetopiony. Można najpierw metal macierzysty doprowadzić do topienia i dopiero wtedy dodać metal z pałeczki, albo też podgrzać metal macierzysty prawie do punktu topliwości i w tej chwili dodać materiału z pałeczki i tak silnie go przegrzać, by metal macierzysty także się stopił. Pierwszy sposób wydaje się korzystniejszym.

Przez młotkowanie na zimno i wyżarzanie, albo przez przekuwanie na gorąco, uzyskujemy rozdrobnienie ziarn i usunięcie naprężeń spawalniczych. Dla miedzi z zawartością tlenu obróbka tego rodzaju jest konieczna, aby przez zmianę układu tlenków miedzi podwyższyć wytrzymałość i obniżyć porowatość; ale także dla miedzi odtlenionej taka obróbka zwiększa wytrzymałość połączenia.

Spawanie łukiem elektrycznym pozwala z łatwością na miejscowe natopienie, pomimo dużego przewodnictwa cieplnego miedzi. Trudność jednak leży w tym, że dotychczas nie istnieją właściwie dobre elektrody, których otulina zabezpieczałaby przed spalaniem metalu elektrody i która by uspakajała do tego stopnia łuk elektryczny, ażeby uniknąć rozpryskiwania.

Wysoka temperatura zarówno elektrody metalowej, jakoteż i węglowej o tyle jest szkodliwa, że znikają łatwo parujące składniki stopu, jak cynk, fosfór i kadm.

W literaturze mało jest danych o spawaniu miedzi elektrodą metalową. Używa się grubo otulonych elektrod z brązu, połączenia jednak są gorsze niż wykonane palnikiem acetylenowo-tlenowym. Blachy miedziane do 3,2 mm grubości spawano elektrodami miedzianymi z dodatkiem krzemu, lub też elektrodami z brązu fosforowego, przy czym osiągano wytrzymałość połączenia równą prawie wytrzymałości metalu macierzystego.

Przeszkodą dla szerszego zastosowania elektrod metalowych jest konieczność używania specjalnych podkładek, gdyż lekko płynny stopiony metal mógłby przeciekać, powodując dziury w szwie spawanym.

Większe znaczenie praktyczne posiada spawanie metali elektrodą węglową, które może być nawet korzystniejsze od spawania acetylenem. Dla blach, które spawano z szybkością 0,5 *m/min* otrzymano wytrzymałość od 21 do 24 kg/mm^2. Stosowanie podkładek nie jest koniecznością, jednak jest pożyteczne, zwłaszcza przy użyciu pałeczek z brązu fosforowego.

Przy spawaniu elektrycznym topniki nie są konieczne.

Przy użyciu pałeczek z dużą zawartością cyny i fosforu nie przeprowadza się żadnej obróbki po spawaniu. Jeżeli konieczna jest zmiana kształtu po spawaniu, to trzeba ją przeprowadzać w temperaturze pokojowej lub tylko lekko podwyższonej, gdyż brązy fosforowe są kruche na gorąco.

Mało jest danych o spawaniu atomowym. Miedź odtleniona może być tym sposobem spawana, podczas gdy spawanie miedzi z zawartością tlenu daje porowate spoiny.

Zgrzewanie oporowe. Praktyczne zastosowanie tego rodzaju spawania jest niewielkie. Wymaga ono dużej siły prądu; dla zmniejszenia jej wstawia się między łączone krawędzie blaszkę z brązu fosforowego o grubości np. 0,25 *mm.*, przedstawiającą duży opór elektryczny.

Spawanie mosiądzu.

Przy spawaniu mosiądzu o zawartości 5 do 45% *Zn* (ew. z domieszką cyny, ołowiu, manganu, aluminium, żelaza, niklu lub krzemu) powstają trudności wobec łatwego wyparowywania cynku. Niepożądane to zjawisko można zmniejszyć przez stosowanie pałeczek, zawierających krzem, przy użyciu boraksu, jako topnika. Krzemiany boru tworzą wówczas warstwę ochronną dla kąpieli.

S p a w a n i e a c e t y l e n o w e. Spawanie acetylenem mosiądzu jest łatwiejsze niż miedzi, a to wobec niższego punktu topliwości, mniejszego przewodnictwa cieplnego oraz ze względu na obecność cynku, jako środka silnie odtleniającego. Przygotowanie blach do spawania jest takież jak dla miedzi. Jako materiał dodatkowy stosuje się mosiądz z dodatkiem 33 do 35% *Zn*, brąz specjalny, o zawartości 38 do 40% *Zn* i 0,5 do 0,75% *Sn*, oraz brąz manganowy o składzie: 38 do 40% *Zn*, 1 do 1,5% *Fe*, 0 do 1,5% *Sn* i 0,03 do 1,25% *Mn* Jako topniki stosuje się boraks i kwas borny.

Spawanie prowadzi się w ten sposób, że najpierw topi się materiał rodzimy, następnie dodając materiału z pałeczki. Doprowadzanie ciepła przez roztopiony materiał dodatkowy prowadziłoby bowiem do dużych strat cynku.

Biały mosiądz, zawierający 20 do 40% *Zn* i 10 do 20% *Ni*, daje łatwo spoinę porowatą wobec skłonności do pochłaniania gazów.

S p a w a n i e e l e k t r y c z n e. Spawanie elektrodą metalową nie ma praktycznego znaczenia, gdyż nie udało się dotychczas zapobiec silnemu wyparowaniu cynku z materiału elektrody. Z tej też racji mosiądz jako materiał dodatkowy nie może być stosowany również przy elektrodzie węglowej. Mosiądz, biały mosiądz jakoteż brązy z zawartością cynku spawane są tym sposobem z dobrym skutkiem przy zastosowaniu jako materiału dodatkowego brązu fosforowego oraz stopów miedzi z krzemem lub niklem.

Z g r z e w a n i e o p o r o w e jest stosowane dla mosiądzu jak i dla innych stopów miedzi z zawartością cynku.

Stopy miedzi z krzemem.

Stopy te zawierają zwykle dodatek manganu, cynku, cyny lub niklu. Posiadają one szczególnie dobrą spawalność wobec małego przewodnictwa cieplnego, dobrej plastyczności, nieczułości na przegrzania a także dzięki temu, że roztopione krzemiany tworzą dla kąpieli dobrą warstwę ochronną.

S p a w a n i e a c e t y l e n o w e daje dobre wyniki przy zastosowaniu płomienia o nadmiarze tlenu w wysokości około 10% i przy dużej szybkości spawania. Przygotowanie materiału do spawania — tak jak dla miedzi. Materiał dodatkowy posiada taki sam skład jak materiał rodzimy. Nie należy używać zbyt cienkich pałeczek, aby uniknąć przegrzania. Topniki stosuje się dość obficie. Drobnoziarnisty skład spoiny osiąga się przez przekuwanie na zimno lub na gorąco oraz wyżarzanie. Co do wpływu tej obróbki na własności wytrzymałościowe spoiny zdania są podzielone.

S p a w a n i e e l e k t r y c z n e. Daje się tu zastosować spawanie elektrodą metalową, aczkolwiek spoina posiada ograniczoną ciągliwość i lepiej jest poddawać ją obróbce ulepszającej. Elektrody posiadają ten sam skład, co i materiał rodzimy. Do spawania pionowego i ponad głową nadają się tylko elektrody otulone.

Dla blach cienkich lepsze wyniki daje spawanie elektrodą węglową. Ale i dla grubszych blach otrzymuje się tą drogą lepsze własności wytrzymałościowe spoiny. Materiał dodatkowy posiada taki sam skład, jak materiał rodzimy. Przy spawaniu elektrycznym topniki używane są w niewielkich ilościach.

Z g r z e w a n i e o p o r o w e jest szeroko stosowane. Wymaga ono dużej siły prądu i wielkich szybkości spawania.

Brązy.

Spawanie brązu posiada małe znaczenie praktyczne, gdyż jest on używany głównie w postaci odlewów, dla których spawanie stosuje się tylko przy naprawach. Przy wyższych zawartościach cyny spawanie obniża własności wytrzymałościowe brązu. Brązy z zawartością ołowiu są kruche na gorąco i trudno spawalne.

Spawanie gazowe stosuje się przy naprawach dzwonów, wirników turbin, siodeł zaworów, pomp itp. Duże znaczenie ma napawanie startych części, jak np. zębów, kół zębatych.

Brązy o zawartości mniej niż 2% *Sn* można spawać elektrycznie elektrodą metalową lub węglową.

Brąz posiada stosunkowo niskie przewodnictwo elektryczne i cieplne i daje się zgrzewać oporowo.

Stopy miedzi z niklem.

Artykuł traktuje o stopach, zawierających nie wyżej 50% *Ni*. Domieszka niklu poprawia spawalność miedzi, obniżając znacznie jej przewodnictwo cieplne. Zmniejsza się natomiast ciągliwość na gorąco i to w dość znacznym zakresie temperatur. Trudności sprawiają tlenki niklu oraz skłonność do pochłaniania gazów, powodująca niebezpieczeństwo porowatości spoiny. Obecność siarki już w ilości 0,005% obniża plastyczność stopu. Zapobiega temu domieszka magnezu lub manganu.

S p a w a n i e a c e t y l e n o w e. Przygotowanie krawędzi blach stosuje się takie jak dla miedzi, tylko rozsunięcie blach jest nieco większe. Podczas procesu spawania trzeba szczególnie pamiętać o łatwości powstawania tlenków niklu i miedzi i nie dopuszczać do spalania środków redukujących. Metodę spawania w lewo stosuje się do blach o grubości poniżej 2,5 *mm*. Pałeczki używa się o takim samym składzie jak materiał rodzimy; można też podwyższać zawartość składników ochronnych, jak mangan, magnez i wanad, lub stosować także domieszkę krzemu, który sprzyja powstawaniu ochronnej warstwy szlaki. Przed przystąpieniem do spawania każdą blachę pokrywa się topnikami z obu stron. Jako topniki służą kwas borny, roztopiony boraks i chlorek sodowy, rozpuszczone w wodzie destylowanej z dodatkiem manganu i fosforu.

S p a w a n i a e l e k t r y c z n e g o autor nie omawia.

Z g r z e w a n i e o p o r o w e stosuje się z dobrym skutkiem.

(H. Cornelius. Schweissen von Kupfer und Kupferlegierungen nach Schrifttumübersicht von Ira T. Hook, ZVDI, 1937, N. 48). *P.* i *H.*

KRONIKA HUTNICZA.

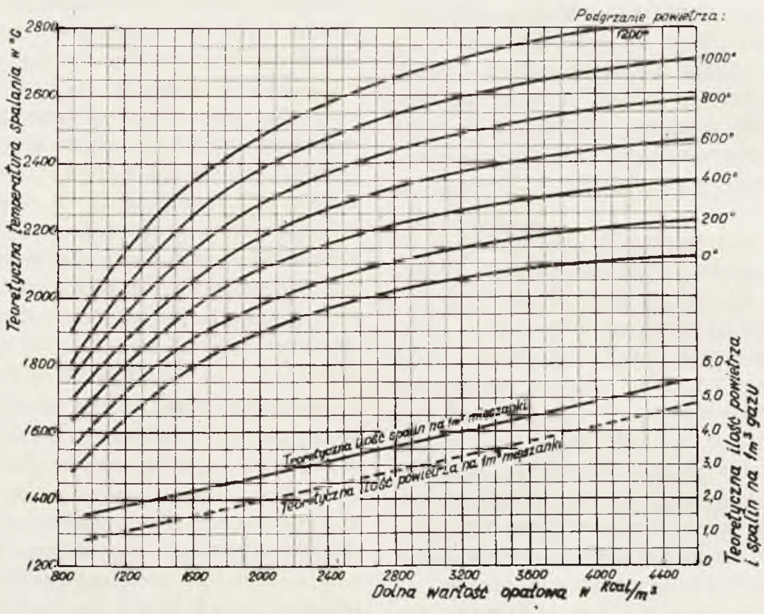
I. Podstawy zwiększenia zastosowania gazu wielkopiecowego w hutach żelaza [1]).

Gaz gardzielowy wielkiego pieca zużywany bywa na własne potrzeby wielkiego pieca — do ogrzewania powietrza i napędu dmuchaw. Poza tym zużywają gaz wielkopiecowy inne oddziały huty, a więc koksownia, elektrownia, dostarczając ewentualnie prąd nazewnątrz huty i piece hutnicze. W miarę wprowadzania do wielkich pieców większej ilości biednych rud, a do pieców martenowskich surówki zamiast złomu zwiększa się ilość wytwarzanego gazu gardzielowego, a zmniejsza jego zużycie w stalowni. Powstały nadmiar gazu częściowo idzie na pokrycie zwiększonego własnego zapotrzebowania wielkiego pieca, a jeżeli huta ma własną koksownię, może część nadmiaru gazu zużytkować na zwiększenie produkcji koksu wielkopiecowego. Zwiększenie sprzedaży prądu nazewnątrz nie zawsze jest możliwe, a przejście w stalowni z gazu koksowego na mieszankę z gardzielowym wymaga przebudowy zasobnic (regeneratorów) i głowic pieca.

Autor zadaje sobie pytanie, dlaczego tani, pozbawiony siarki gaz gardzielowy jest niechętnie stosowany do ogrzewania pieców huty. Jeden z powodów widzi autor w niskiej teoretycznej temperaturze spalania gazu gardzielowego, przy czym teoretyczną temperaturą spalania nazywa temperaturę obliczoną dla spalania z teoretyczną ilością powietrza w idealnie szczelnej komorze.

Temperatura teoretyczna zależy od ilości spalin, przypadającej na jednostkę wartości opałowej paliwa, którą autor przytacza za Bunsenem, jak niżej:

Rodzaj paliwa	Zapotrzebowanie powietrza na stworzenie 1000 *kal* (m^3/1000 *kal*)	Ilość spalin na 1000 *kal* wytworzonego ciepła (m^3/1000 *kal*)
Ropa	1,05	1,11
Węgiel kamienny	1,07	1,10
Brykiety węgla brunatnego	1,10	1,23
Gaz czadnicowy	0,84	1,48
Gaz koksowy	1,02	1,19
Mieszanka koksowo-gardzielowa (2000 *kal*/m^3)	1,01	1,38
Gardzielowy (962 *kal*/m^3)	0,80	1,67



Rys. 1

Wobec dużej ilości powstających spalin gaz gardzielowy osiąga przy 15 % nadmiaru powietrza zaledwie 1440° C, ale ponieważ w zimnym powietrzu źle się zapala można, jak wskazuje doświadczenie, osiągnąć ogrzanie wsadu co najwyżej do 1050° C.

Teoretyczną temperaturę spalania można podnieść przez ogrzanie gazu i powietrza lub domieszanie gazu koksowego. Na rys. 1 przedstawia autor wpływ podgrzanie powietrza i wartości opałowej gazu gardzielowego wzgl. mieszanki na teoretyczną temperaturę spalania. Podgrzanie powietrza np. do 1200° do spalania gazu gardzielowego o 1000 *kal*/m^3 pozwala osiągnąć 2000° to znaczy tyle, wiele daje spalanie mieszanki o 2800 *kal*/m^3 z zimnym powietrzem. W przypadku gazu wilgotnego obniża się wydatnie temperatura spalania, to też dla zmniejszenia nasycenia gazu wilgocią należy go stosować w stanie możliwie silnie ochłodzonym. Osiągnięcie temperatury podgrzania powietrza około 1000° C jest możliwe tylko w piecach martenowskich, natomiast piece w walcowniach mają temperatury spalin wylotowych najwyżej 900°, to też można liczyć tylko na podgrzanie powietrza do 700 — 750° C. Gaz

[1]) *A. Schack, Stahl und Eisen 58 (1938). Nr 7, str. 157/165.*

nasycony w 30° wilgocią może dać z powietrzem podgrzanym do 700° teoretyczną temperaturę spalania ok. 1770°, a licząc na skutek pirometryczny 77 % i gaz o 985 kal/m^3 otrzymamy 1380° C, a zatem temperaturę wystarczającą do walcowania. W przypadku zmniejszenia się wartości opałowej gazu spadnie temperetura w piecu, jednak zastosowanie także i podgrzewania gazu może stać się skutecznym zabezpieczeniem przed obniżeniem temperatury. Gaz można podgrzewać spalinami, uchodzącymi z zasobnicy powietrznej. Z zestawienia 1 widać, że ilość spalin gazu gardzielowego dwukrotnie przewyższa ilość powietrza do spalania, a uwzględniając większe ciepło właściwe gazów, możemy oszacować ciepło wylotowe spalin, jako dwukrotnie większe od ciepła podgrzanego powietrza nawet wtedy, gdyby powietrze ogrzało się do tej samej temperatury co spaliny. Z tego wynika, że spaliny po ogrzaniu powietrza muszą mieć temperaturę conajmniej równą połowie temperatury przed ogrzaniem powietrza. W ten sposób dochodzi autor do wniosku, że skoro spaliny wchodzą do zasobnicy z temp. 900°, to po ogrzaniu powietrza do 750° wychodzą z temperaturą conajmniej 530° C, mogąc ogrzać gaz gardzielowy do ok. 400° C. Ponieważ ciepło właściwe gazu jest o 25 — 30 % wyższe od ciepła właściwego powietrza, przeto podgrzewanie gazu do 400° C doprowadza do pieca tyle ciepła, co podgrzanie powietrza o conajmniej 500° C, czyli podgrzanie powietrza do 700°, a gazu do 400° C wprowadza w sumie tyle ciepła co powietrze ogrzane do 1200° C. Podgrzewanie gazu wymaga otulania przewodów, więc ze względu na koszty trzeba starannie ustalać potrzebę podgrzewania gazu, unikając podgrzewania gazu w przypadku, gdy praca pieca nie wymaga tak wysokiej temperatury. Strata kominowa stanowi ok. 50 % ciepła spalin.

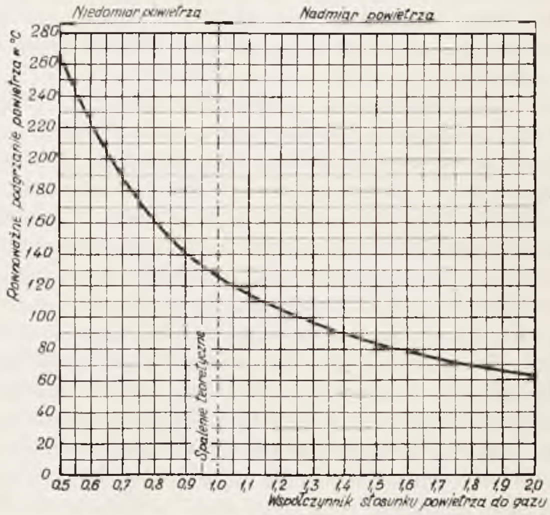
Autor wskazuje na fakt, że w przypadku nadmiaru powietrza ogrzewanego wzrasta teoretyczna temperatura spalania w miarę wzrostu temperatury powietrza, przy czym w miarę wzrostu temperatury powietrza zanika chłodzący wpływ jego nadmiaru. W przypadku niedomiaru powietrza spada stale temperatura spalania w miarę wzrostu niedomiaru, to też tylko przez podgrzewanie gazu można podnieść teoretyczną temperaturę spalania. Rys. 2 podaje równowartościowość ogrzania gazu dla temperatury gazu 100° i różnych nadmiarów powietrza. Widać z niego, że np. w przypadku niedomiaru powietrza 20 % jest ogrzanie gazu o 100 % równoważne podgrzewaniu powietrza na 160°, zaś w przypadku 20 % nadmiaru powietrza równoważne podgrzaniu powietrza o tylko 106° C. Autor podkreśla, że jawne ciepło gazów nie zwiększa straty kominowej.

Piece z zasobnicami są bezwładne i trudno w nich podnosić gwałtownie temperaturę, jak tego często wymaga się w walcowniach i kuźniach. Palniki pieców z zasobnicami pracują coraz wolniej w miarę wzrostu objętości ogrzanego powietrza i gazu. Piece z ogrzewnicami przeciwprądowymi (rekuperatorami), szczególnie metalowymi są mniej bezwładne, a palniki mogą pracować pod ciśnieniem, przystosowując się do potrzeb oddziału.

Przetłokowe piece walcowni mają bardzo różne temperatury spalin wylotowych, szczególnie, gdy piec jest długi. Stosując wyższe temperatury pieca osiągamy wyższe temperatury spalin odlotowych. Przez zwiększenie temperatury spalin osiąga się wyższą temperaturę powietrza i gazu, można zatem obniżyć po rozgrzaniu zasobnic ilość paliwa.

Autor przeprowadza kalkulację przebudowy pieca, opalanego gazem koksowym na piec, z zasobnicami, pracujący na gazie gardzielowym wielkiego pieca. Oceniając wartość paliwa, jako 4 $RM/10^6$ *kal* oblicza autor oszczędność dla 6000 godzin pracy na 100 000 *RM*, co pozwala zamortyzować urządzenia w 1,3 roku.

Omawiając znaczenie palnika dochodzi autor do wniosku, że palniki z wstępnym mieszaniem gazu



Rys. 2

z powietrzem pracują normalnie dobrze, gdyż dają krótszy płomień, a więc lepszy skutek pirometryczny. Gdy gaz ma dużą wartość opałową, lub piec biegnie zdławiony, przeskakuje płomień do wnętrza palnika, skąd pochodzą straty cieplne i trudności w pracy. Palniki bez wstępnego mieszania powodują łączenie gazów tuż przed ujściem do przestrzeni roboczej, to też są bardziej wrażliwe na wahania wartości opałowej gazu i mogą powodować różnice temperatur w piecu. Płomień palników c przepływie 3000 $m^3/godz$ gazu gardzielowego ma długość ok. 2 *m*, to też wydajność pirometryczna jest niższa, a piece trudniejsze konstrukcyjnie do rozwiązania. Autor omawia mechanizację pieców, wypowiadając się za sztucznym ciągiem, który wymaga mniejszej amortyzacji i potania piec, umożliwiając szybkie spalanie. Automatyczna regulacja pieców daje zupełną pewność pracy.

W dyskusji nad pracą autora przytoczono szereg doświadczeń z praktyki walcowni, podając zużycie paliwa w piecach z gorącym powietrzem na 500 — 650 *kal/kg* wsadu, w piecach z gazem i powietrzem gorącym 480 — 700 *kal/kg*. W ogólności potwierdzono zapatrywania autora, stwierdzając doskonałą przydatność gazu gardzielowego do podgrzewania wlewków do walcowania, zwłaszcza, gdy piece są wyposażone w nagrzewnice przeciwprądowe metalowe.

2. Materiały na opory grzewcze pieców elektrycznych [1]).

Rozwój ogrzewnictwa elektrycznego w ostatnich latach objął tak różne dziedziny, jak gospodarstwo domowe i przez temperatury średnie, jak np. w kuźnictwie, dotarł nawet do ceramiki. Te same oporowe materiały zastosowane bez osłon i w osłonach dają możność stworzenia gamy temperatur. Autor wskazuje na przykład opornika grzewczego ze spiralnej rurki metalowej, w której otoczony magnezją żarzy się drut oporowy. Materiał rurki decyduje o trwałości grzejnika, może to być rurka stalowa, ze stali aluminizowanej, stali chromowo-niklowej ogniodpornej lub ze stopu 79% *Ni*, 13% *Cr* i 3% *Fe* — „Inconelu". Ostatni jest najdroższy, ale nie grozi mu kruszenie od wzrostu ziarna i rozkładu węglików (na grafit), jak to ma miejsce w przypadku materiałów poprzednich. W dużych piecach stosuje się najchętniej lane grzejniki o 60% *Ni* i 12% *Cr* (reszta *Fe*), w małych przeważnie druty o 80% *Ni* i 20% *Cr*, znane w handlu, jako nichrom lub alumel. American Society for Testing Materials przyjęła jako próbę trwałości ogrzewanie w 1065° C, obecnie zaś stosuje się 1180°, osiągając trwałość 100 — 150 godzin dzięki ulepszeniu sposobów odlewania, odtleniania i przeróbki plastycznej. Podczas pracy w atmosferze ochronnej mogą druty nichromowe pracować bezpiecznie do 1200° C. Najczęstszym powodem przepalania się drutów oporowych, jest tworzenie się gorących punktów, w których promieniowanie jest utrudnione przez stopniowe utlenienie, a w cienkich drutach przez obecność wtrąceń tlenkowych lub uszkodzeń powierzchni. Rurkowe grzejniki wytwarza się przez spawanie i montuje się pionowo, a wytworzony „ciąg kominowy" przez grzejnik o niezaślepionych końcach ułatwia wyrównanie temperatury grzejników. Temp. 1150° stanowiła nieosiągalną 20 lat temu granicą zastosowania grzejników metalowych. Szwedzki stop „Kanthal" o 25% *Cr*, 5% *Al*, 3% *Co*, reszta *Fe* może pracować dwa lata w osłonie ceramicznej w 1200°, jakkolwiek chwilowo można go nawet obciążać do 1350° C. Kanthal pełza silnie to też większe wstęgi trzeba umieszczać we wnękach pieca, by się mogły opierać. Stop 37,5% *Cr*, 7,5% *Al* reszta żelaza ma doskonałą stałość w wyższych temperaturach, ale w temperaturach pokojowych jest bardzo kruchy nawet po bardzo silnym przeciągnięciu. Materiał ten wytrzymuje 100 godzin w 1425° C i rokuje duże nadzieje do pieców z atmosferą ochronną. Carnegie Institute of Technology opracował ostatnio element grzejny z molibdenu cienko pokrytego płynnym szkłem i ochroniony rurą silimanitową. Taki grzejnik może pracować w 1600° C. Wadą grzejnika jest kruchość osłony.

Na grzejniki o najwyższych temperaturach stosuje się „Globary" (Silit) z szczególnie starannie przerobionego węglika krzemu (karborund).

Dużych strat cieplnych na stykach doprowadzeń prądu starano się uniknąć przez chłodzone wodą zaciski. Część takiego grzejnika, umieszczona w piecu jest wykonana z mieszanki o dużym przewodnictwie, końce zaś zanurza się w mieszance o wyższym oporze elektrycznym i mniejszym przewodnictwie cieplnym. Te końce, cieńsze przechodzą na zewnątrz pieca, gdzie jest centrala końcówek doprowadzenia prądu. Piece silitowe mogą pracować stale w 1540 — 1600° C. Średnica grzejników może być jednak co najwyżej równa 50 *mm*, a długość całkowita sięga 900 *mm*, z czego długość użyteczna w piecu około 400 *mm*. Grzejniki wykonywuje się w postaci rur.

[1]) *E. E. Thum, Metal Progress 33 (1938). Nr 2, str. 135/6.*